

# **MATERIAŁY**

## **XIII MIĘDZYNARODOWEJ NAUKOWO- PRAKTYCZNEJ KONFERENCJI**

### **«STRATEGICZNE PYTANIA ŚWIATOWEJ NAUKI- 2017»**

07 -15 lutego 2017 roku

#### **Tom 9**

Gospodarka rolna

Techniczne nauki

Chemia i chemiczne technologie

Przemysł

Nauka i studia

2017

Adres wydawcy i redakcji:  
37-700 Przemyśl , ul. Łukasińskiego 7

Materiały XIII Międzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji  
«Strategiczne pytania światowej nauki- 2017», Tom 9 : Chemia i chemiczne  
technologie . Techniczne nauki . Gospodarka rolna . Przemysł: Nauka i studia  
-68 str.

Zespół redakcyjny: dr hab. Jerzy Ciborowski (redaktor prowadzący),  
mgr inż. Piotr Jędrzejczyk, mgr inż. Zofia Przybylski, mgr inż. Dorota  
Michałowska, mgr inż. Elżbieta Zawadzki, Andrzej Smoluk, Mieczysław  
Luty, mgr inż. Andrzej Leśniak, Katarzyna Szuszkiewicz.

**Materiały XIII Międzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji ,  
«Strategiczne pytania światowej nauki- 2017», 07 -15 lutego 2017 roku po  
sekcjach: Chemia i chemiczne technologie . Techniczne nauki .  
Gospodarka rolna .**

e-mail: praha@rusnauka.com

Cena 54,90 zł (w tym VAT 23%)

ISBN 978-966-8736-05-6

© Kolektyw autorów, 2017

© Sp. z o.o. «Nauka i studia», 2017

Цепенюк М.И.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДНЫХ МЕХАНИЗМОВ С АСИНХРОННЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ**

Для современного машиностроения характерна непрерывная интенсификация технологических процессов, что связано с увеличением рабочих скоростей, сокращением до минимума времени холостых ходом и вспомогательных перемещений. В этих условиях первостепенное значение приобретают вопросы всестороннего исследования переходных процессов в приводных механизмах.

Теоретические исследования динамики механизмов, оборудованных асинхронными электродвигателями, производятся в большинстве случаев с учетом электромагнитных переходных процессов в двигателях при некоторых допущениях, принятых при математическом описании механических и электромагнитных переходных процессов. Это вносит неточность в получаемые результаты. Кроме того, дифференциальные уравнения исследуемых систем решаются численными методами, что при определенных значениях коэффициентов данных уравнений может существенно отразиться на точности результатов расчета. При этом определить контрольную точку для проверки решения задачи практически невозможно. Поэтому в данном случае необходима экспериментальная проверка результатов исследований.

Теоретически доказано, что в недемпфированной беззазорной электроприводной системе при определенных соотношениях механических и электрических параметров наблюдается явление электромеханического резонанса. Последнее может также проявляться и в системах, имеющих небольшие зазоры и незначительное механическое демпфирование. Поэтому возникает вопрос о том, имеет ли место данное явление в реальных электроприводных механизмах, которым всегда присуще рассеивание механической энергии, а очень часто и наличие зазоров. Это представляет большой практический интерес, поэтому является объектом части экспериментальных исследований.

Для проведения экспериментальных исследований была сконструирована и изготовлена модель приводного механизма, оборудованного короткозамкнутым асинхронным электродвигателем АО-51-4, маховиком и упругой муфтой.

Упругая муфта, соединяющая ротор двигателя с маховиком, состоит из ведущей и ведомой полумуфт и сменной пластины, что позволяет, используя пластины разной толщины, изменять жесткость упругого звена «ротор-маховик».

Исследовались переходные процессы при прямом включении асинхронного электродвигателя. При этом замерялись значения крутящего момента в упругом звене «ротор-маховик» и угловая скорость вращения маховика. Для измерения крутящего момента использовалась полумостовая схема с двумя кремниевыми полупроводниковыми тензодатчиками. Применяемые тензодатчики типа «Кремнистор» имеют повышенный коэффициент тензочувствительности ( $k=120$ ), что позволяет получить на выходе мостовой схемы полезный сигнал без предварительного усиления. Это в значительной степени увеличивает точность измерения крутящего момента и упрощает измерительную аппаратуру. Результаты измерений крутящего момента и скорости вращения маховика регистрировались при помощи шлейфового осциллографа.

Для измерения угловой скорости вращения маховика использовался тахогенератор постоянного тока ТМГ-30П.

При проведении эксперимента жесткость упругой муфты изменялась. Это давало возможность исследовать динамику механизма при разных значениях низшей частоты собственных упругих колебаний.

Экспериментальные зависимости относительного крутящего упругого момента  $\bar{M}_{1,2}$  ( $\bar{M}_{1,2} = M_{1,2}/M_{ном}$ ,  $M_{ном}$  – номинальный момент двигателя) и относительной скорости вращения маховика  $\varpi_2$  ( $\varpi_2 = \omega_2/\omega_c$ ,  $\omega_c$  – частота питающей сети) от времени, полученные в результате исследования пуска механизма при разных значениях низшей частоты собственных упругих колебаний, представлены на рис. 1а, 2а. Сравнительный анализ данных величин дает возможность установить некоторую общую законность протекания механических переходных процессов в системе.

В начальный период разгона механизма колебания крутящего момента в звене «ротор-маховик» осуществляются с большими амплитудами и с частотой, близкой к частоте сети. Эти колебания вызваны возмущенными действиями со стороны момента электродвигателя и их частота равна частоте возмущений (48,7 Гц). Максимум упругого момента может возникнуть как в первом полупериоде колебаний (рис. 1а), так и после нескольких колебаний (рис. 2а).

При дальнейшем разгоне механизма вынужденные упругие колебания затухают и в этот момент в кривых  $\bar{M}_{1,2}$  сразу же появляются составляющие свободных механических колебаний. Упругие моменты в этом периоде движения сравнительно невелики. Данный отрезок времени соответствует работе двигателя на неустойчивой части статической механической характеристики. Затем значения упругих моментов увеличиваются. Такое явление наблюдается при скорости двигателя, отвечающей его критическому скольжению.

Характерной чертой переходного процесса пуска рассматриваемой системы является еще то, что средняя линия в кривой упругого момента  $\bar{M}_{1,2}$  во всех случаях имеет одинаковую форму, которая похожа на статическую механическую характеристику двигателя.

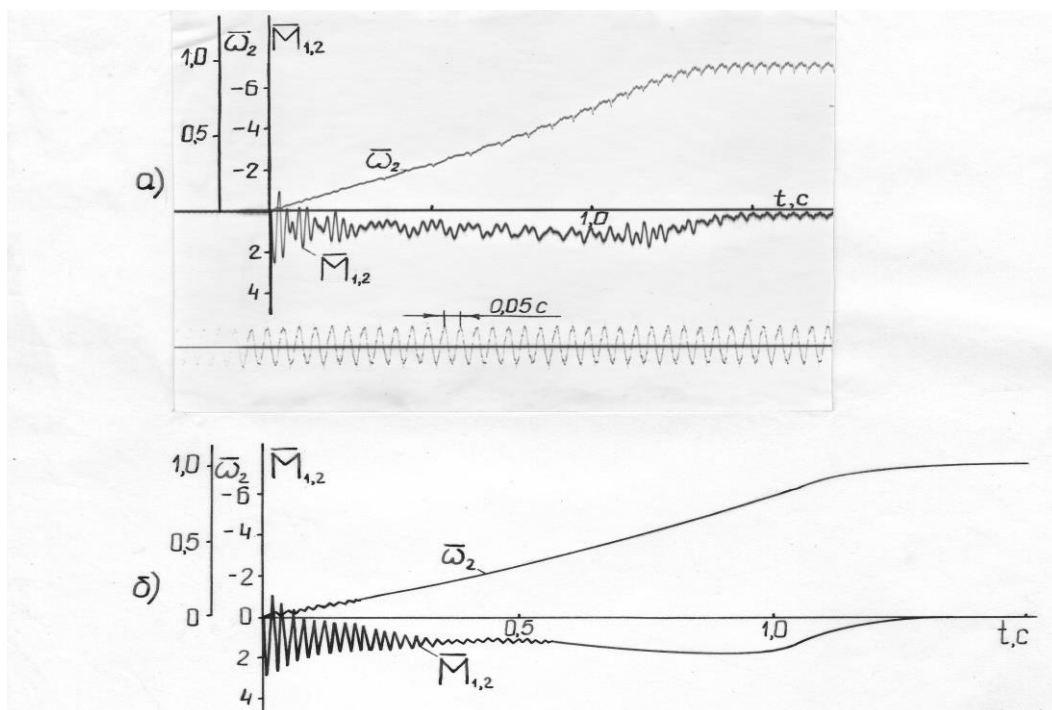


Рис.1

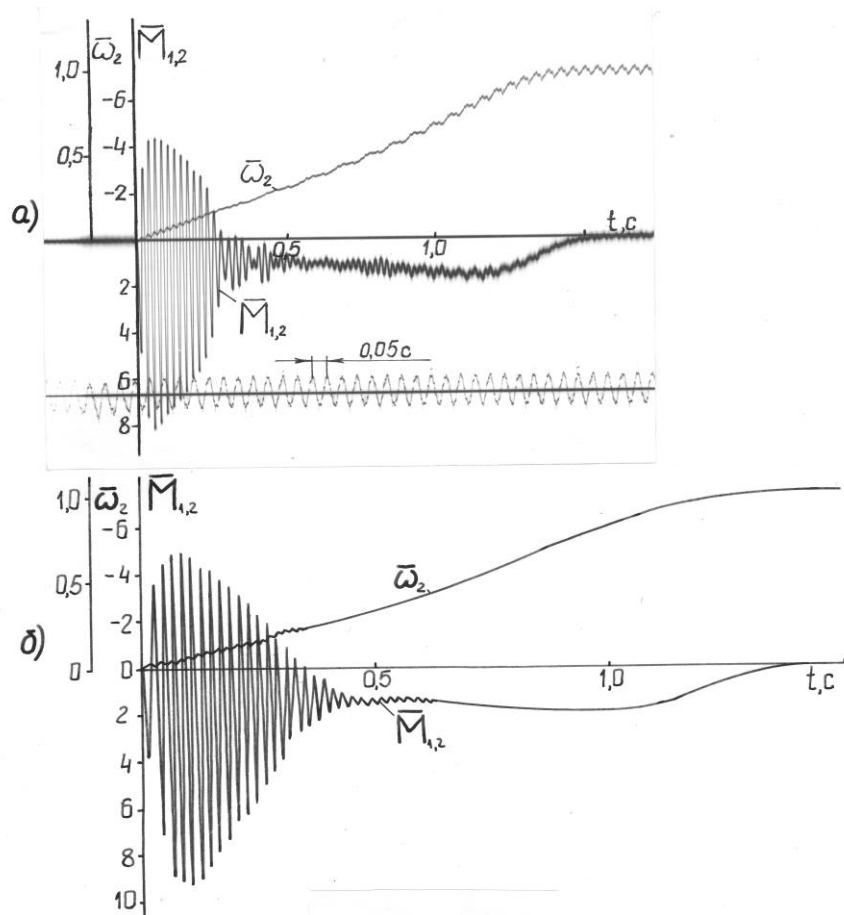


Рис. 2

Сравниваю зависимости упругого момента, представленные на рис. 1а, 2а, приходим к выводу что при частоте собственных упругих колебаний  $f=48,7\text{Гц}$  (рис. 2а) характер протекания переходных процессов качественно отличается от случая при  $f=35\text{Гц}$  (рис. 1а). Здесь имеются колебания крутящего момента с возрастающей амплитудой до сравнительно больших величин. Резкое возрастание амплитуд колебаний крутящего момента при  $f=48,7\text{Гц}$  (рис. 2а) объясняется явлением резонанса, которое возникает в механической части привода в результате совпадения частоты колебаний периодической составляющей электромагнитного момента в начале пуска с низшей частотой собственных упругих колебаний системы. Максимальная резонансная амплитуда колебаний  $\bar{M}_{1,2}$  в нашем случае равняется 8,3 значений номинального момента приводного двигателя. Это вызывает значительные перегрузки, что представляет большую опасность для прочности механических звеньев электроприводного механизма.

Закон изменения скорости вращения маховика во всех рассматриваемых случаях имеет плавных характер (рис. 1а, 2а). Незначительные колебания

угловой скорости имеются только в начальном периоде разгона. Резонансные явления очень незначительно увеличивают амплитуды колебаний величины  $\varpi_2$ . Это связано с тем, что момент инерции маховика в несколько раз превышает момент инерции ротора двигателя.

Для сравнения полученных результатов экспериментальных исследований с теоретическими были проведены расчеты аналогичных динамических процессов механизма. Расчетная схема исследуемого механизма была представлена в виде упругой двухмассовой системы, массы которой соединены невесомым упругим звеном. Учитывался зазор в упругом звене и рассеяние энергии по схеме упруго-вязкого тела.

Используя уравнение Лагранжа второго рода, уравнения движения механизма в матрично-векторной форме имеют вид:

$$\dot{\omega} = J^* (M - B\omega - C\varphi); \quad \dot{\varphi} = \omega, \quad (1)$$

где  $\omega$ ,  $\varphi$  – двумерные векторы-функции (матрицы-столбцы) угловых скоростей и углов поворота масс системы;  $J^*$  –  $(2 \times 2)$ – диагональная матрица моментов инерции масс системы с постоянными элементами:  $\{J^*\}_i, i = \frac{I}{J_i}$ ,  $J_i$  – момент инерции  $i$ -той массы ( $i=1,2$ );  $B$ ,  $C$  –  $(2 \times 2)$  – матрицы коэффициентов рассеяния энергии  $\beta_{j,k}$  и жесткостей упругих звеньев  $c_{j,k}$  ( $j=1; k=2$ );  $M$  – двумерная вектор-функция внешнего воздействия с компонентами:

$$M = [M_o, -M_n]^T,$$

где  $M_o$ ,  $M_n$  – электромагнитный момент двигателя и момент нагрузки.

Коэффициенты рассеяния энергии и жесткости упругих звеньев есть кусочно-линейные функции

$$\begin{aligned} \beta_{j,k} &= 0, & c_{j,k} &= 0, & \text{если} & \quad |\varphi_j - \varphi_k| \leq \Delta_{j,k}; \\ \beta_{j,k} &= \beta_{j,k}^*, & c_{j,k} &= c_{j,k}^*, & \text{если} & \quad |\varphi_j - \varphi_k| \geq \Delta_{j,k}, \end{aligned}$$

где  $\Delta_{j,k}$  – величина зазора в упругом звене  $j-k$ ;  $\beta_{j,k}^*$  – коэффициент рассеяния энергии,  $c_{j,k}^*$  – жесткость упругого звена при выбранном зазоре.

Для описания электромагнитных переходных процессов в асинхронном электродвигателе используем уравнения в преобразованной системе координат с учетом насыщения магнитопроводов [1]

$$\begin{aligned}\dot{\Psi}_S &= U_S + \Omega_S \Psi_S - r_S i_S; & \dot{\Psi}_R &= U_R + \Omega_R \Psi_R - r_R i_R; \\ \dot{\Psi}_m &= G(\alpha_S \dot{\Psi}_S + \alpha_R \dot{\Psi}_R); & i_S &= \alpha_S (\Psi_S - \Psi_m); & i_R &= \alpha_R (\Psi_R - \Psi_m),\end{aligned}\quad (2)$$

где  $\Psi_j (j = S, R, m) = [\Psi_{jx}, \Psi_{jy}]^T$  – матрицы-столбцы полных потокосцеплений обмоток статора ( $j=S$ ), ротора ( $j=R$ ) и рабочих протокосцеплений ( $j=m$ );  $U_S, U_R$  – матрицы-столбцы напряжений обмоток статора и ротора;  $i_S, i_R$  – соответствующие матрицы-столбцы токов;  $\Omega_S, \Omega_R$  –  $(2 \times 2)$  – матрицы угловых скоростей;  $G$  –  $(2 \times 2)$  – матрица связи рабочих и полных потокосцеплений;  $r_S, r_R$  – сопротивления обмоток статора и ротора;  $\alpha_S, \alpha_R$  – величины, обратные индуктивностям рассеивания обмоток статора и ротора.

Электромагнитный момент двигателя определяем по формуле:

$$M_\partial = \frac{3}{2} P \alpha_R (\Psi_{my} \Psi_{Rx} - \Psi_{mx} \Psi_{Ry}), \quad (3)$$

где  $P$  – число пар полюсов электродвигателя.

Уравнения (1)-(3) образуют математическую модель исследуемого экспериментального электроприводного механизма. Полученные уравнения решались численными методами на ЭВМ с использованием стандартных математических программ. Необходимые исходные данные для расчета принимались непосредственно на основании экспериментальной установки. Расчетные зависимости упругого крутящего момента и скорости маховика приведены на рис. 1б, 2б. Из сравнения данных величин с экспериментальными кривыми (рис. 1а, 2а) видно, что результаты расчета достаточно точно соответствуют реальным величинам. Разница максимальных значений упругого момента, полученных расчетным путем и экспериментально, составляет примерно 10-14%. Данное расхождение находится в пределах погрешности измерительной аппаратуры, поэтому сходимость расчетных и экспериментальных результатов исследований хорошая.

#### Литература

1. В.И. Чабан. Методы анализа электромеханических систем. - Львов: Высшая школа, 1985.-192 с.



## CONTENTS

### TECHNICZNE NAUKI

#### Mechanika

Безвесільна О.М., Ткачук А.Г., Хильченко Т.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ ОБЕРТАННЯ ЗЕМЛІ НА ПОХИБКУ КУТОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ НА ОСНОВІ ЛАЗЕРНИХ ГІРОСКОПІВ .....	3
---	---

Цепенюк М.И. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДНЫХ МЕХАНИЗМОВ С АСИНХРОННЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ.....	7
---	---

#### Branżowa budowa maszyn

Асафтей Е.А. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПОЯВЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ НА ПОПЛАВКАХ ГИРОСКОПА .....	13
---	----

Іванова Р.А. ОСНОВНІ СПОСОБИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГЕРМЕТИЧНОСТІ В СУШАРКАХ СУБЛІМАЦІЙНИХ.....	16
--	----

Ержанқызы Б. ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ.....	19
--	----

Хамрай В.В., Лимаренко О.М., Романов О.А. ВИЗНАЧЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПІДВІСКИ СПОРТИВНОГО АВТОМОБІЛЮ .....	23
--	----

#### Transport

Фомін О.В., Стецько А.А. ФОРМАЛІЗОВАНЕ ОПИСАННЯ ПОТЕНЦІЙНИХ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНИХ ВАГОННИХ СКЛАДОВИХ .....	27
--	----

Дуйсенбекова Ш.О. РЕКОНСТРУКЦИЯ ЗОНЫ ТО И ТР ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ КАМАЗ.....	31
---	----

Ильина И.Е, Котельников Г.А. АНАЛИЗ АГРЕССИВНОГО ПОВЕДЕНИЯ УЧАСТНИКОВ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА АВАРИЙНОСТЬ.....	34
--	----

Степанов О.В. ВПЛИВ ФАКТОРА ЛЮДИНИ НА БЕЗПЕКУ АВТОДОРОЖНОГО РУХУ .....	37
---	----

#### Energetyka

Рахманова Ж.С., Немеребаев М.Н., Сейтбек Е.Ж., Жамалбай А. ЖАНАРМАЙДЫҢ ӨНДІРІЛУІ МЕН КӨРСЕТКІШТЕРІН ТАЛДАУ .....	40
---	----